

Ville Lagerström

Arduino-pohjaisen sähköajoneuvon latausaseman suunnittelu ja valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan

Insinöörityö

21.5.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Lagerström Arduino-pohjaisen sähköajoneuvon latausaseman suunnittelu ja valmistus 40 sivua 21.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Autosähkötekniikka
Ohjaajat	Lehtori Vesa Linja-aho
<p>Tämän insinööritoiminnan tavoitteena oli valmistaa Arduino-pohjainen sähköajoneuvojen latausasema Metropolia Ammattikorkeakoulun opetuskäyttöön. Latausaseman tarkoitus oli toimia lataustapa 3:lla ja sen piti täyttää sähköajoneuvojen latausasemille asetettujen standardien vaatimukset.</p> <p>Työn alussa käydään läpi latausasemassa käytettävä lataustapa 3 ja siinä käytettävä tyyppi 2 liitin sekä sen liittimessä olevien control pilot- ja proximity pilot -piirien kontaktien tarkoitus. Seuraavana käydään läpi latausaseman suunnittelu osuus, jonka jälkeen esitellään latausaseman valmistukseen valittuja komponentteja. Tästä siirrytään ohjainlaitteen rakentamisen osioon, jossa käydään läpi ohjainlaitteeseen valmistettavan protokortin eri rakennusvaiheet selittäen selkeästi, mitä ovat eri komponenttien käyttötarkoitukset protokortissa. Rakennusosion jälkeen siirrytään valmiin ohjainyksikön ohjelmointiin ja koodimuutoksiin. Ohjelmoinnista siirrytään ohjainlaitteen simulaatiotestaukseen, jossa samalla selitetään tarkemmin control pilot -piirin signaali. Näiden jälkeen siirrytään latausaseman kokoamisprosessiin, jossa kaikki hankitut komponentit asennetaan tehdaskoteloon ja suoritetaan laitteiden sähkökytkennät. Tästä siirrytään valmiinlatausaseman testaukseen. Viimeiseksi opinnäytetyössä on yhteenveto ja pohdintaa projektista.</p> <p>Insinööritoiminnan tuloksena syntyi kompaktin kokoinen sähköajoneuvojen latausasema Metropolia Ammattikorkeakoulun opetuskäyttöön sekä laaja raportti latausaseman valmistamisen eri vaiheista. Raporttia voidaan käyttää sähköajoneuvotekniikan opetusmateriaalina.</p>	
Avainsanat	sähköajoneuvon latausasema, OpenEVSE, Arduino

Author Title	Ville Lagerström Self-Manufactured Arduino Based Electric Vehicle Charging Station Planning and Build-Up
Number of Pages Date	40 pages 21 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Electric Engineering
Instructors	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer
<p>The aim of this bachelor's thesis was to manufacture Arduino based EV charging station for Metropolia UAS teaching purposes. Charging station was supposed to work as level 3 charger and it should fulfill EV charging station requirements of the established standards.</p> <p>The beginning of this thesis explains through charging stations level 3 charging and the used type 2 connector including explanation for control pilot- and proximity pilot -circuit pins purpose which are inside of the connector. The next part deals with charging stations planning and the introduction of the chosen main components of the charging station. Up next it's the building phase of the control board, where it's explained how the prototype shield was assembled, by going through all the phases and explaining the work purposes of the different parts used in the shield. After the building phase it's time for programming and program changes and from there to control board simulation testing, where control pilot -signal is reviewed more closely. After these the next part is assembly process of the charging station, where every acquired component is to be installed to plastic case and the wiring is accomplished. From here we move to test the finished charging station. For last in this thesis is the conclusion with own thoughts about the project.</p> <p>As the result of this thesis a compact sized EV charging station was manufactured for Metropolia UAS teaching purposes and also profound report of different phases of manufacturing the charging station was made. The report can be used as automotive electric engineering teaching material.</p>	
Keywords	electric vehicle charging station, OpenEVSE, Arduino

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähköajoneuvon lataus	3
2.1	Lataustapa 3	3
2.2	Tyypin 2 liitin	4
2.3	Proximity pilot ja control pilot	4
2.3.1	Proximity pilot -piiri	4
2.3.2	Control pilot -piiri	4
3	Suunnittelu	5
3.1	Suunnittelu ja kompromissit	5
4	Komponenttien valinta ja niiden vaatimukset	6
4.1	Arduino-pohjainen latausaseman ohjainyksikkö	6
4.1.1	Arduino Uno-malli	6
4.1.2	Adafruit 2077 R3 protokortti	7
4.2	Kontaktori	8
4.3	Vikavirtasuojakytkin ja tasasähkövikavirran monitorointilaite	9
4.3.1	Vikavirtasuojakytkin	9
4.3.2	RCM-moduuli	10
4.4	Tyypin 2 pistorasia	10
5	Ohjainyksikön rakennus	11
5.1	OpenEVSE Arduino Shield -protokortin valmistusohjeet ja osaluettelo	11
5.2	OpenEVSE Arduino Shield -protokortin valmistus	12
5.2.1	Naarasrimat ja ruuviterminaalit	12
5.2.2	Latausaseman toimintatilojen ilmaisu	13
5.2.3	Kontaktorin koskettimien ohjaus	13
5.2.4	Control pilot -jännitteen tuottaminen	14
5.2.5	Control pilot -signaalin 1 kHz:n signaalin tuottaminen	16
5.2.6	Control pilot -jännitteen mittaaminen	16
5.3	Virtalähde ohjainyksikölle	17

6	Ohjainyksikön ohjelmointi	19
6.1	GFCI-piirin testauksen poisto	19
7	Ohjainlaitteen testaus simuloinnilla	20
7.1	Control pilot -signaali	20
7.1.1	Pulssisuhde	20
7.1.2	Control pilot -jännitteen mittausta ja latauksen toimintatilat	21
7.2	Simulointipiirin tekeminen	22
7.3	Control pilot -piirin testaus simuloinnilla	24
7.3.1	Toimintatila A	25
7.3.2	Toimintatila B	25
7.3.3	Toimintatila C	25
7.3.4	Toimintatila D	26
7.3.5	Toimintatila E	26
7.3.6	Toimintatila F	26
8	Kotelo ja komponenttien asennus	27
8.1	Latausaseman kotelo	27
8.1.1	Yleistä	28
8.2	Komponenttien asennus	28
8.2.1	Kytkenäkaavio	28
8.2.2	Voimavirtajohdon läpivienti ja tyyppi 2 pistorasian asennus	29
8.2.3	Kontaktorin, VSKK:n, RCM-moduulin sekä suojamaan apukosketin asennus	29
8.2.4	Ohjainlaitteen ja AC/DC-virtalähteen asennus	31
8.3	Kuvia latausasemasta koottuna	32
9	Valmiin latausaseman testaus	33
9.1	Lataussimulaattori	33
9.2	Testaus	34
10	Yhteenveto ja pohdintaa projektista	36
	Lähteet	38

Lyhenteet

SFS	Suomen standardoimisliitto.
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. Saksalainen sähkötekniinen järjestö.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähkötekniikan standardoimisjärjestö.
SAE	Society of Automotive Engineers. Yhdysvaltalainen autoalan standardoimisjärjestö
VVSK	Vikavirtasuojakytkin.
RCM	Residual Current Monitoring module. Tasasähkövikavirran monitorointiin käytettävä laite.
GFCI	Ground Failure Current Interrupter. Maadoitusta ja vikavirtaa monitoroiva piiri OpenEVSEn ohjelmistossa.

1 Johdanto

Sähköajoneuvot ovat alkaneet yleistyä Suomessa ja latausasemia asennetaan jatkuvasti lisää julkisille paikoille. Yksityishenkilöille kotiin asennettavia latausasemia on laajalti saatavilla, mutta monilla yksityishenkilöillä ei kuitenkaan ole kotona kunnollista sähköajoneuvon latausasemaa kotonaan, jolla voi ladata lataustapa 3:lla eli sähköauton ns. normaalilatauksella, joka on maksimilatausvirraltaan 32 A ja teholtaan 3,6–22 kW (1). Tähän löytyy monia syitä, joista suurimpia varmasti ovat laitteiston hankinta ja asennuskulut. Tämä on herättänyt sähköajoneuvojen omistajien kiinnostuksen ympäri maailmaa halvempiin tee se itse -tyyppisiin latausaseman rakennussarjoihin, jonka avulla itse laitteiston hankinta kuluja saadaan pienennettyä.

Tämäkaltaisia rakennussarjoja on nykypäivänä tarjolla muutamilta yrityksiltä, joista yksi tunnetuimpia on OpenEVSE-niminen yhdysvaltalainen yritys. OpenEVSE tarjoaa valmiita latausaseman rakennussarjoja sekä ohjelmiston latausasemille avoimen lähdekoodin, jota voidaan muokata tarpeen mukaan. Rakennussarjojen lisäksi yritys julkaisee avoimesti tarjoamiensa piirilevyjen kaavioita, joiden avulla osaavat henkilöt voivat valmistaa piirilevynsä itse.

Yrityksen rakennussarjoista löytyy useita eri variaatioita, ja yleisimmät erot rakennussarjoissa ovat latausaseman lataustehossa ja lisävarusteissa. Lisävarusteina on saatavina esimerkiksi mahdollisuus liittää latausasema WiFi-verkkoon, jolloin latausasemaa voidaan monitoroida ja hallita etäyhteydellä esimerkiksi puhelimen tai tablettitietokoneen avulla. Kallein rakennussarja on varustettu kaikilla lisävarusteilla, ja paketin mukana tulee kaikki tarvittavat komponentit, kotelo ja latausjohto. Kyseisellä paketilla on hintaa 599 dollaria (2). Halvimmalla 99 dollarin OpenEVSE:n rakennussarjalla saa pelkästään itse koottavan ohjainyksikön ilman LCD-näyttöä, ja siihen voi osaava ihminen hankkia oman mielensä mukaan muut tarvittavat komponentit, kuten esimerkiksi kontaktorin, vikavirtasuojakytkimen ja koteloinnin (3).

Tässä opinnäytetyössä valmistetaan Arduino-pohjainen ja OpenEVSE:n tuotteisiin perustuva sähköajoneuvon latausasema. Latausaseman on tarkoitus täyttää sähköajoneuvojen latausta koskevien standardien asettamat vaatimukset latausasemalle. Opinnäytetyön pohjana toimii aiemmin tehty ”Sähköajoneuvon vaihtosähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne” -niminen opinnäytetyö (4).

Työssä kerrotaan aluksi lyhyesti sähköajoneuvon latauksesta, seuraavaksi esitellään latausaseman suunnittelua, minkä jälkeen kuvataan komponenttivalinnat ja niiden mahdolliset vaatimukset. Komponenttivalintojen jälkeen kuvataan, miten ohjainyksikkö on tehty, ohjelmoitu ja simulaation avulla testattu. Tämän jälkeen kerrotaan laitteiston koamisprosessista ja laitteen lopullisesta testistä. Työn lopussa on yhteenveto ja pohdintaa tehdystä projektista.

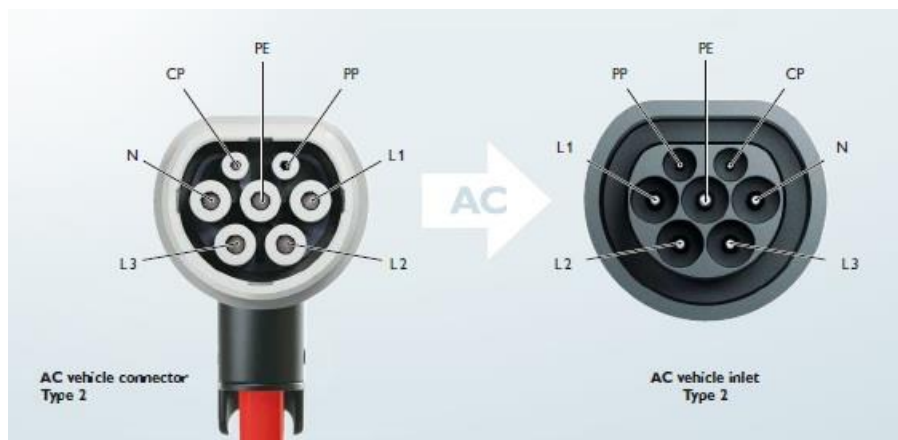
Opinnäytetyössä valmistetun sähköajoneuvon latausaseman on tarkoitus toimia opetusvälineenä opetuskäytössä Metropolia Ammattikorkeakoulun. Opinnäytetyön tilasi autosähkötekniikan lehtori Vesa Linja-aho keväällä 2018.

2 Sähköajoneuvon lataus

Tässä luvussa kerrotaan sähköajoneuvon lataustapa 3:sta, jota valmistettava lataus- asema käyttää. Tämän lisäksi tarkastellaan tyypin 2 -liitintä, jota käytetään lataustapa 3:ssa, ja lopuksi kerrotaan lyhyesti liittimestä löytyvien proximity pilot- ja control pilot - piirien tehtävistä, sillä ne ovat tärkeässä osassa sähköajoneuvon ja latausaseman väli- sessä kommunikoinnissa latauksen eri vaiheissa.

2.1 Lataustapa 3

Lataustapa 3 on sähköajoneuvojen suositeltavin ja yleisin lataustapa, minkä takia sitä sanotaankin usein peruslataukseksi. Peruslatauksessa käytetään SFS-EN 62196-2- standardin mukaista tyypin 2 pistokytinliitäntäjohtoa, joka kytketään ajoneuvon ja la- tausaseman välille niistä molemmista löytyviin tyypin 2 pistorasioihin (kuva 1). Harvinais- empana vaihtoehtona on latausasemasta löytyvä kiinteä tyypin 2 liitäntäjohto, joka kyt- ketään ajoneuvon tyypin 2 pistorasiaan. Kyseistä vaihtoehtoa löytyy useimmiten vain ajoneuvovalmistajan omista latausasemista. Ladattaessa pistokytin tai pistokytimet lu- kittuvat vastakappaleisiinsa eli pistorasioihin, joko mekaanisesti tai sähköisesti toimivalla lukolla. Latausasema sisältää itsessään lataukseen tarvittavan ohjaus- ja suojavaikuteyksy- kön, joiden tiedonsiirtoväylillä voidaan varmistaa, että ajoneuvo on oikein ja turvallisesti kytketty latauspisteeseen, sekä ladattaessa voidaan ohjata kuormitusta ja virransyöttöä molempiin suuntiin. Peruslatauksen maksimaalinen huippuvirta on 63 A, jolla saavute- taan maksimissaan 43 kW:n latausteho, mutta suurin osa ajoneuvoja ladataan pienem- mällä teholla. (5)



Kuva 1. Tyypin 2 liitin. Pistokytin vasemmalla ja pistorasia oikealla. (6)

2.2 Tyypin 2 liitin

Tyypin 2 liitin (kuva 1) on alun perin saksalaisen sähköteknisen järjestön VDE:n ja Menneks-yrityksen kehittämä ja standardoima liitin, joka on nykyisin osa kansainvälistä IEC 62196-2 -standardia. Liitin on Euroopan yleisin, ja siitä käytetään yleisesti puhekielessä nimeä Mennekes-liitin. Liittimessä on kuusi kontaktia; liittimen L1, L2, L3 kontaktit ovat eri vaiheita varten, ja N-kontakti on maadoitukselle. Liittimen keskellä oleva PE-kontakti (Protective Earth) on suojamaadoitus, joka turvaa huippuvirralla. PP- ja CP-kontaktit on tarkoitettu proximity pilot- ja control pilot -signaaleille. (6; 7)

2.3 Proximity pilot ja control pilot

Alun perin yhdysvaltalaisesta SAE J1772 -standardista lähtöisin oleva control pilot (CP) -signaalipiiri on nykyisin integroitu osaksi kansainvälistä IEC 61851 -standardia, johon määritettiin vaatimus proximity pilot -signaalipiiristä (8). Molemmat signaalikontaktit löytyvät tyypin 2 liittimistä. Signaalit ovat tärkeässä osassa sähköauton latauksessa. Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti näiden piirien tehtävistä.

2.3.1 Proximity pilot -piiri

Proximity pilot -piirin tehtävä on tunnistaa sähköajoneuvon kytkentä latauspisteeseen. Kun ajoneuvo kytketään latausasemaan liitäntäjohdolla, proximity pilot -piirissä tapahtuu vastuksen muutos, jolloin latausasema tietää, että sähköajoneuvo on kytketty latausasemaan. (8; 9)

2.3.2 Control pilot -piiri

Control pilot -piirin tehtävä on määrittää latausasemalle sen antama maksimaalinen huippuvirta latauksessa. Piiri viestii sähköajoneuvon kanssa, ja ajoneuvo kertoo akustonsa varaustilan, ja näin control pilot -piiri voi määritellä huippuvirran lataukselle ja säädellä sitä akuston varauksen kasvaessa. (9; 10) Control pilot -signaalin toiminnasta kerrotaan tarkemmin luvussa 7.

3 Suunnittelu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada rakennettua mahdollisimman kompaktin kokoinen latausasema, joka on opetuskäyttöä ajatellen tarpeen tullen helposti liikuteltavissa ja täyttäisi standardien vaatimukset. Valmiin latausaseman pitäisi pystyä lataamaan sähköajoneuvoa lataustapa 3:lla.

3.1 Suunnittelu ja kompromissit

Latauspisteen suunnittelu aloitettiin tarkastelemalla, mitä komponentteja lataustapa 3:lla lataava latausasema tarvitsee. Tämän jälkeen katsottiin standardien antamat vaatimukset latausaseman komponenteille ja aloitettiin niiden etsiminen ja niiden vertailu erilaisista elektroniikkaverkkokaupoista.

Pääkomponenttien löydyttyä pohdittiin, miten latausasemasta saa tehtyä opetuskäyttöön soveltuvan. Opetuskäytössä latausaseman täytyisi olla sopivan kokoinen, tarpeeksi kevyt, jotta laitetta voidaan liikutella helposti, ja sen olisi hyvä kestää mahdollisia iskuja. Jotta latausasemasta saisi mahdollisimman helposti liikutettavan, päätettiin, että laitteeseen asennetaan johdollinen voimavirtapistoke kiinteästi latausasemaan, jotta laitetta ei tarvitse asentaa suoraan sähköverkkoon, vaan voimavirtapistokkeen kiinnitys voimavirtapistorasiaan riittää virran saamiseksi. Metropolian 32 A:n voimavirtapistokkeiden vähyden takia päätettiin, että latausasema lataa maksimissaan 16 A:n huippuvirralla ja tällöin käytetään 16 A:lle mitoitettua voimavirtajohtoa ja pistoketta. Voimavirtajohdon pituudeksi päätettiin 10 metriä. Painon säästämiseksi ja ulkoisten johtojen vähentämiseksi päätettiin valita tyyppin 2 pistorasialue johdollisen pistoliittimen sijaan. Latausaseman kotelon hankinta päätettiin siirtää myöhemmäksi projektissa, kun kaikki komponentit ovat saapuneet ja valmistettavat komponentit tehty, sillä tällöin on helpompi hahmottaa tarvittavan kotelon mitat. Projektiin valittu kotelo esitellään luvussa 8.

4 Komponenttien valinta ja niiden vaatimukset

Tässä luvussa esitellään latausaseman rakentamiseen käytettyjä pääkomponentteja ja kerrotaan hieman niiden mahdollisista vaatimuksista. Tarkempia tietoja standardien asettamista vaatimuksista saa ”Sähköajoneuvon vaihtosähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne” -nimisestä opinnäytetyöstä (4).

4.1 Arduino-pohjainen latausaseman ohjainyksikkö

Projektin alussa tutkittiin erilaisia mahdollisuuksia tehdä omavalmisteinen latausasema ja etsinnän tuloksena löydettiin OpenEVSE-yrityksen tekemä Arduino-pohjainen projekti, joka vaikutti lupaavalta. Kyseinen projekti oli ensimmäinen versio OpenEVSE:n laitteistosta. Yritys tarjosi vielä avoimen lähdekoodin laitteistoon, joka säästäisi runsaasti aikaa ohjelmoinnissa. Näin ollen päädyttiin kyseisen projektin ohjeiden käyttöön ja Arduinon kehitysalustaan.

Arduino on siitä erinomaisen hyvä kehitysalusta, sillä se on hyvinkin yksinkertainen mutta todella monipuolinen. Arduinon hyviä puolia ovat muun muassa se, että siihen saa liitettyä omatekoisia protokortteja sekä siinä on oma ohjelmointiohjelma IDE ja sen ohjelmointiin käyvät useimmat yleiset koodikielet.

4.1.1 Arduino Uno-malli

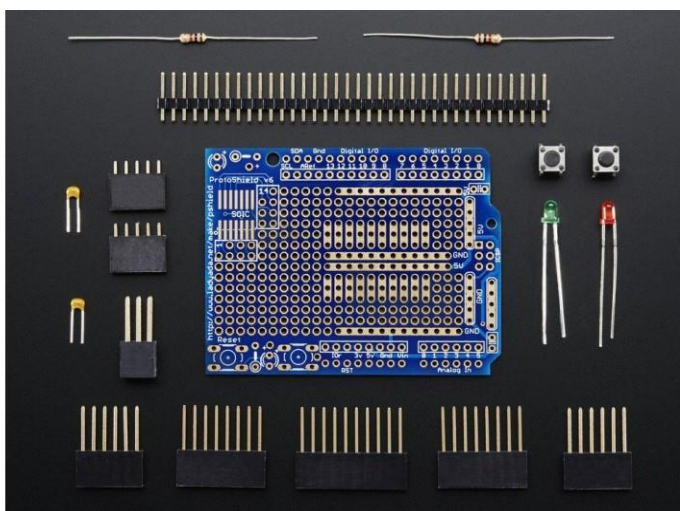
Projektissa käytettävä Uno-mallin mikropiiri (kuva 2) on vain 68,4 mm pitkä ja 53,4 mm leveä, sillä on painoa vain 25 grammaa, ja se toimii 5 V:n käyttöjännitteellä (11). Uno-mallia pystyy helposti laajentamaan helposti kokoamalla protolevyjä yksirivisten naarasrimojen päälle, jotka näkyvät kuvassa 2 piirilevyn vasemmalla ja oikealla reunalla.



Kuva 2. Arduino Uno-malli (11).

4.1.2 Adafruit 2077 R3 protokortti

Arduinon valmistamiin mikropiirilevyihin on saatavilla useiden valmistajien valmistamia protokorttipaketteja, jotka on suunniteltu Arduinon piirilevyille sopivaksi. Tähän projektiin tilattiin Partco-verkkokaupasta Adafruit-yrityksen valmistama 2077 R3 -protokorttipaketti (kuva 3), joka on kooltaan Arduino Unon kokoinen. Sen mukana tulee naarasrimat, jotka näkyvät *kuvan 3* alareunassa, joilla valmis protokortti voidaan pinota Arduino Unon päälle (12). Valmistettavan protokortin tarkoitus on hallita kontaktoria ke-
loja, ilmaista lataustila ja luoda lataukseen kontrollointiin tarvittava control pilot -signaali.



Kuva 3. Adafruit 2077 R3 protokorttipaketti (12).

4.2 Kontaktori

Oikeantyyppisen kontaktorin etsintä aloitettiin katsomalla Metropolian autolaboratoriossa olleiden Enston ja Teslan valmistamien latausasemien kontaktorien mallit ja niiden tekniset tiedot. Näiden tietojen avulla etsittiin kontaktoria ja päätös kohdistui GE:n valmistamaan CTX-mallisarjan 666151-moduulikontaktoriin, joka on sama kuin autolaboratoriossa olevassa Teslan Wall Connector -latausasemassa. Kuvassa 4 on kyseinen GE:n kontaktori, ja siitä näkee laitteen teknisiä tietoja.



Kuva 4. GE:n moduulikontaktori

4.3 Vikavirtasuojakytkin ja tasasähkövikavirran monitorointilaite

Standardin SFS 6000 mukaan kaikkien sähköajoneuvoja vaihtosähköllä lataavien latausasemien täytyy olla suojattu mitoitustoimintavirraltaan enintään 30 mA:n tasasähkövikavirrasta pois kytkeytyvällä vikavirtasuojakytkimellä (VVSK). Standardi määrittelee, että sähköajoneuvojen latauspistorasioiden vikavirtasuojaukseen pitäisi B-tyyppin VVSK:ta, mutta A-tyyppin VVSK:ta saa käyttää, mikäli sen ohella käytetään tasasähkövikavirran havaitsemiseen soveltuvaa laitetta, millä varmistetaan poiskytkentä tasasähkövikavirran ylittäessä 6 mA arvon. (13, kohta 722.531.3.101)

4.3.1 Vikavirtasuojakytkin

Etsiessä vaatimusten mukaista VVSK:ta päätös kohdistui A-tyyppin versioon, sillä B-tyyppin VVSK kustantaa reilusti enemmän, kuin A-tyyppin versio. Halvimmillaan B-tyyppin VVSK:ta löydettiin 214 €:n hintaisena, kun taas A-tyyppin versiota löytyy alle 50 €:n hintaisena ja se on helpommin saatavilla kaikista sähkötukuista. (13; 14) Lisäksi haluttiin tutustua erillisen tasavikavirran valvontalaitteen käyttöön.

Vikavirtasuojakytkimeksi lopulta hankittiin *kuvassa 5* vasemmalla näkyvä GE:n valmistama KBP-mallisarjan 693467. Kuvasta näkee myös vikavirtasuojakytkimen tärkeimmät tekniset tiedot.



Kuva 5. GE:n vikavirtasuojakytkin ja Phoenix Contactin RCM-moduuli.

4.3.2 RCM-moduuli

RCM-moduuli eli tasasähkövikavirran monitorointilaite hankittiin opinnäytetyötä ohjaavan opettajan ehdotuksesta Phoenix Contact -yritykseltä. RCM-moduuliksi hankittiin kuvassa 5 näkyvä EV-RCM-C1-AC30-DC6-malli, joka pois kytkeytyy 30 mA:n vaihtosähkövikavirran lisäksi vaaditusta 6 mA:n tasasähkövikavirrasta (15, kohta 722.531.3.101; 16)

4.4 Tyypin 2 pistorasia

Tyypin 2 pistorasiaksi hankittiin EV-T2M3SE12-3AC32-0,7M6,0E10 -malli ja pistorasialle hankittiin vielä saranallinen kansi. Molemmat tuotteet on hankittu myös Phoenix Contactilta. Kyseinen laite soveltuu lataustapa 3:een ja siinä on elektronisesti ohjattu 12 V:n sähkölukko, joka lukittautuu, kun jännite alkaa virrata, ja avautuu, kun järjestelmä on jännitteetön (17). Kuvassa 6 on projektiin hankittu tyypin 2 pistorasia, ja sen yläosassa näkyy elektronisesti ohjattu 12 V:n sähkölukko.

Valitettavasti tässä projektissa ei käytetä aiemmin mainittua sähkölukkoa aikataulustyistä.



Kuva 6. Phoenix Contactin tyypin 2 pistorasia (17).

5 Ohjainyksikön rakennus

Latausaseman ohjainyksikkö koostuu kolmesta osasta, joista ensimmäinen on Arduino Uno -mikropiirikortti, toinen osa on omavalmisteinen OpenEVSE Arduino Shield -protokortti. Kolmas ja viimeinen osa ohjainyksikölle on virtalähde, joka on omalla piirilevyllään erillään Arduinosta ja protokortista. OpenEVSE Arduino Shield -protokortin tarkoitus on ohjata kontaktorin käämejä, luoda control pilot -signaali ja ilmaista latauspisteen tila RGB-ledivalon eri väreillä.

5.1 OpenEVSE Arduino Shield -protokortin valmistusohjeet ja osaluettelo

Protokortti valmistettiin Instructables-verkkosivustolla olleen Arduino EV J1772 Charging Station -projektin ohjeiden ja osaluettelon mukaisesti (18). Kyseisen projektin on julkaissut Instructables-sivustolle OpenEVSE:n perustaja, ja se oli ensimmäinen versio OpenEVSE:n avoimenlähdekoodin sähköautonlatausjärjestelmästä (19). Protokortin valmistukseen on käytetty taulukossa 1 näkyviä osia.

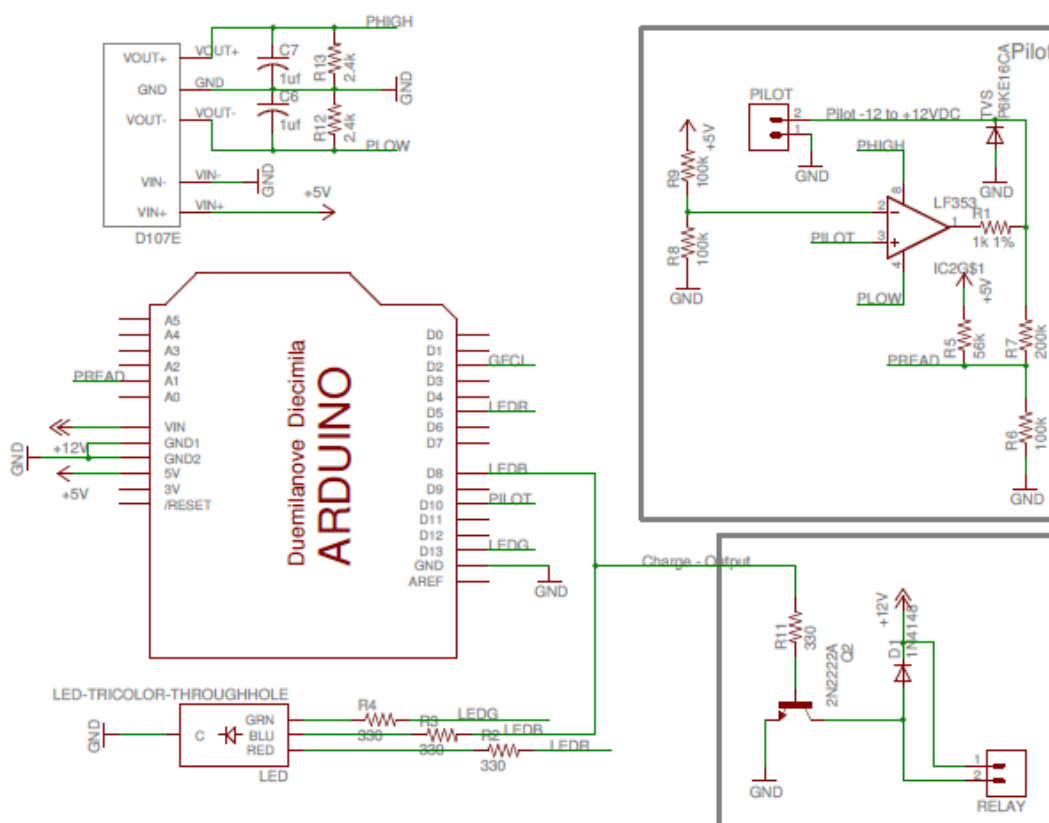
Taulukko 1. Control Pilot -protokortin osaluettelo.

Osa	Valmistaja	Malli/Arvo	Lkm
Vastus	Yleinen	330 Ω	4
Vastus	Yleinen	1 k Ω	1
Vastus	Yleinen	2,4 k Ω	2
Vastus	Yleinen	56 k Ω	1
Vastus	Yleinen	100 k Ω	1
Vastus	Yleinen	200 k Ω	1
Operaatiovahvistin	Texas Instruments	LF353	1
Transienttisuojadiodi	Multicomp	P6SMB16	1
Diodi	ON Semiconductor	1N4148	1
Kondensaattori	Yleinen	1 μ f	2
DC/DC-muunnin	Tracopower	TMA 2412D	1
RGB-ledi	Yleinen	Yleinen, RGB CC	1
NPN-transistori	Multicomp	2N2222	1
Ruuviterminaali	Yleinen	Yleinen, 24-16 AWG, 2-paikkainen	2

Osa projektin osaluettelon osista on korvattu toisen valmistajan samoilla teknisillä tiedolla olevilla osilla. Sivun ohjeista poiketen releen sijasta käytetään kontaktoria ja GFCL-protokorttia ei valmistettu, sillä VVSK- ja RCM-moduuli monitoroivat vikavirtoja. Kolmantena poikkeuksena projektille on kolmivaihevirran käyttö yhdysvaltalaisen yksivaihevirran sijaan ja ainoa muutos on johtojen kytkennöissä, jotka käsitellään luvussa 8.

5.2 OpenEVSE Arduino Shield -protokortin valmistus

Osien asennus protokorttiin tehtiin Instructables-sivuston kuvien, piirikaavioiden ja ohjeiden mukaisesti (18). Asentaessa komponentteja protokortille sai olla tarkkana niiden asennuspaikasta, koska Adafruitin protokortti on todella pienieikä ylimääräistä tilaa ole. Kaikki sähköpiirikaavioissa näkyvät komponenttien liitokset on toteutettu protokortissa hyppylankojen avulla. Kuvassa 7 näkyy protokortin täydellinen piirikaavio kytkentöineen.



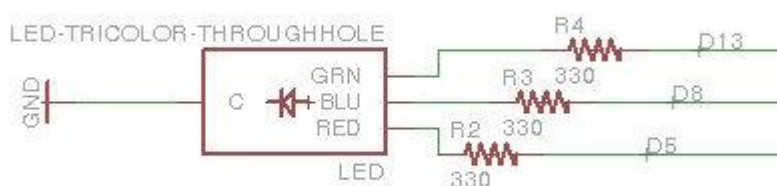
Kuva 7. OpenEVSE Arduino Shield piirikaavio (20).

5.2.1 Naarasrimat ja ruuviterminaalit

Ensimmäinen vaihe protokortin valmistamisessa oli asentaa protokorttisetin mukana tulleet naarasrimat protokorttiin. Naarasrimoja oli yhteensä 4 kpl, joista kaksi oli 1 x 6 -rivisiä ja toiset kaksi olivat 1 x 8 -rivisiä. Tämän lisäksi protokorttiin asennettiin 2 kpl 2-paikkaisia ruuviterminaaleja. (18)

5.2.2 Latausaseman toimintatilojen ilmaisu

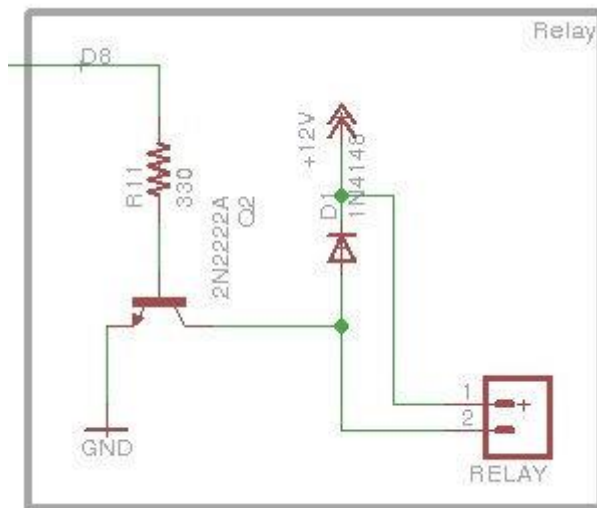
RGB-ledin tarkoitus tässä piirissä on ilmaista eri väreillä eri latausaseman toimintatiloja. Ledin asennus protokorttiin suoritettiin kuvan 8 piirikaavion mukaisesti. Ledin pisin jalka menee protokortissa maadoitukseen, ja ennen kuin jokaisen väri liitetään niille tarkoitettuihin digitaalikonakteihin D13, D8 ja D5, tulee niiden väliin 330 Ω :n suuruinen vastus. (18)



Kuva 8. RGB-ledin sähköpiirikaavio (18)

5.2.3 Kontaktorin koskettimien ohjaus

Kontaktorin koskettimien asentoja tässä protokortissa ohjaa NPN-transistori, joka asennettiin protokorttiin kuvan 9 piirikaavion mukaisesti. Transistori ohjaa kontaktorien kelojen avulla koskettimien sulkeutumista, jolloin voidaan käyttää eri tasoista latausta. Transistorin emitteri liitetään protokortin GND-paikkaan ja kanta liitetään ensin 330 Ω :n suuruiseen vastukseen, minkä jälkeen se jatkaa matkaa protokortin naarasriman digitaaliseen D8-kontaktiin. Kollektori liitetään kontaktorin ruuviterminaaliin ja samalla se sarjaan 1N4148 diodin kanssa. Diodin tehtävä on estää jännitteen pääsy transistorille muualta protokortista. (18)



Kuva 9. Kontaktorin ohjaimen piirikaavio (18).

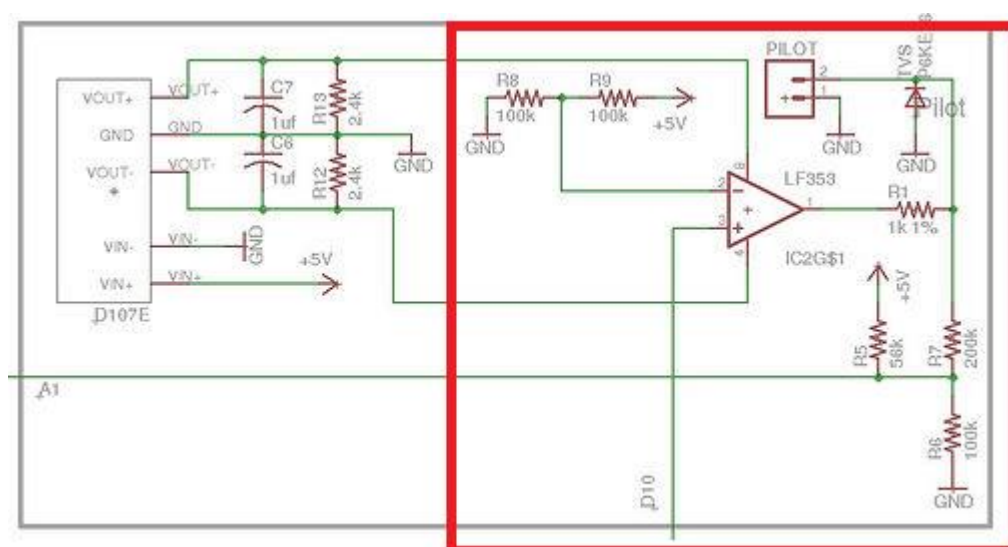
5.2.4 Control pilot -jännitteen tuottaminen

Control pilot -signaali on 1 kHz:n taajuista kanttiaaltoa, jonka jännite vaihtelee -12 voltin ja +12 voltin välillä. Jotta protokortti saadaan tuottamaan samanlaista signaalia, tarvitaan DC/DC-muunnin, joka muuntaa jännitteen vaaditulle alueelle. DC/DC-muuntimena tässä protokortissa toimii Tracopower-yrityksen valmistama TMA 2412D -muunnin.

Muunnin asennettiin protokorttiin siten, että sen VIN- ja VIN+ -jalat menevät *kuvassa 10* näkyvän valmiin protokortin keskellä kulkeviin GND- ja +5V-riveihin, joita osoitetaan *kuvassa* punaisella ja sinisellä nuolella. Muuntimen kolme muuta jalkaa VOUT+, GND ja VOUT- asentuvat täten yllä mainittujen rivien vieressä oleviin yksittäisiin vapaisiin paikkoihin, josta VOU+ ja VOUT- -jalat liitetään operaatiovahvistimen kontakteihin ja GND-maihin, kuten *kuvan 11* piirikaaviosta näkee. (18)

5.2.5 Control pilot -signaalin 1 kHz:n signaalin tuottaminen

Operaatiovahvistimen tarkoitus tässä protokortissa, on tuottaa control pilot -signaalille vaadittu 1 kHz:n signaali. Texas Instrumentsin valmistama LF353-operaatiovahvistimen asennuspaikka näkyy kuvasta 10, ja siihen tulevat liitokset on tehty kuvan 12 piirikaavion mukaisesti. LF353-operaatiovahvistimessa on 8 jalkaa, joista numeroita 5, 6 ja 7 ei käytetä ollenkaan. Operaatiovahvistimen jalkojen kontakti nro 1 liitetään control pilot -ulos-tuloon ja näiden kahden välille asennetaan 1 k Ω :n vastus sekä P6KE16CA-transientti-suojadiodi, joka suojaa operaatiovahvistinta liian suurilta virroilta ja jännitteiltä. Kontakti nro 2:een asennetaan jännitteen jakajaksi kaksi kappaletta 100 k Ω :n suuruisia vahvistimia, josta toisen vastuksen pää liitetään +5V-rivin vapaaseen paikkaan ja toisen vastuksen pää GND-rivin vapaaseen paikkaan. Kontakti nro 3 liitetään protokortin naarasriman D10-kontaktiin. DC/DC-muuntimen VOUT- kontakti liitetään operaatiovahvistimen kontaktiin nro 4 ja VOUT+ kontaktiin nro 8. (18)



Kuva 12. Control pilot -piirin piirikaavio (18).

5.2.6 Control pilot -jännitteen mittaus

Latausaseman ohjainlaite kommunikoi ladattavan sähköauton kanssa control pilot -signaalin avulla. Jotta se voi kommunikoida, täytyy ohjainlaitteen pystyä lukemaan control pilot -signaalin jännitetasoja, niin että se voi vastata sähköautolle ja antaa latausta tarvittavan suuruisella teholla ja virralla.

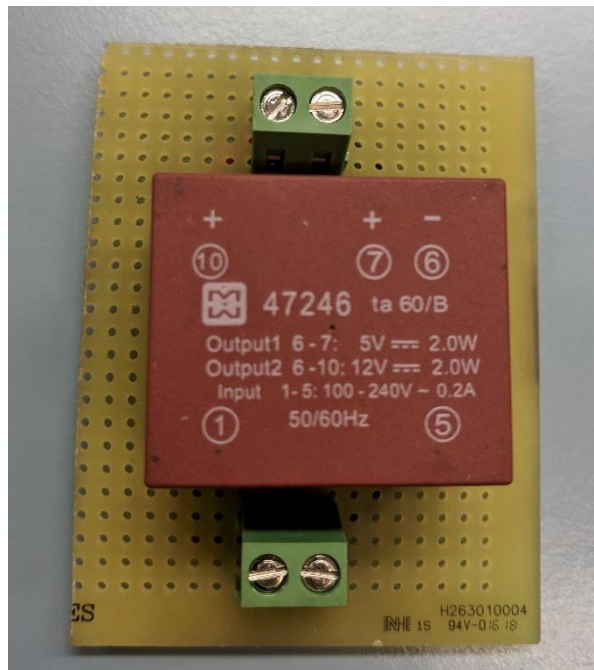
Jännitteen mittauksen mahdollistaminen toteutetaan liittämällä ensin 56 kΩ:n suuruinen vastus protokortin +5V-kontaktista naarasriman analogiseen A1-kontaktiin. Toiseksi liitetään 100 kΩ:n suuruinen vastus protokortin GND-kontaktista samaiseen A1-kontaktiin ja viimeiseksi liitetään protokortin ruuviliittimen control pilot -ulostulosta 200 kΩ:n suuruinen vastus samaan A1-kontaktiin kuten muutkin vastukset. Tehdyt liitokset näkyvät kuvassa 10 ja ne ovat tehty kuvan 12 piirikaavion mukaisesti. Kyseinen toteutus toimii siten, että A1-kontaktiin asennetut 100:n ja 200 kΩ:n suuruiset vastukset toimivat jännitteenjakajana ja ne skaalaavat DC/DC-muuntimen tuottaman -12 V:n jännitteen eritasoiseksi. 56 kΩ:n suuruisen vastuksen avulla jännite pidetään positiivisena, sillä Arduinon analogiset sisääntulokontaktit eivät kestä negatiivista jännitettä. Esimerkkinä -12 V:n suuruinen jännite näkyy A1-kontaktissa 1 V:n suuruisena ja +12 V:n näkyy 4,5 V:n suuruisena. (18)

5.3 Virtalähde ohjainyksikölle

Virtalähteeksi ohjainyksikölle hankittiin Myrra-yrityksen valmistava piirilevyn soveltuva 12 V:n AC/DC-virtalähde. Virtalähteeseen kytketään kontaktorista yksi kolmivaihesähkön vaiheista, jolloin se alentaa kyseisen vaiheen jännitteen ohjainyksikölle sopivaksi 12 voltiksi. Virtalähde asennettiin ruuviterminaalien kanssa leikattuun reikäpiirilevyn palaan. Virtalähteen ulostulojen kontaktit 10 ja 6 liitettiin ruuvi terminaaliin, jotta saadaan 12 V:n ulostulojännite. Sisääntulon kontaktit 1 ja 5 toiseen ruuviterminaaliin. Taulukosta 2 näkee virtalähdepiirilevyn osaluettelon ja kuvasta 7 valmiin virtalähdepiirilevyn.

Taulukko 2. Virtalähdepiirilevyn osaluettelo.

Osa	Valmistaja	Malli/Arvo	Lkm
Ruuviterminaali	Yleinen	Yleinen, 24-16 AWG, 2 paikkainen	2
Piirilevy virtalähde	Myrra	47246 / 12 V, 170 mA, AC/DC	1



Kuva 13.Valmis ohjainyksikön virtalähdepiirilevy.

6 Ohjainyksikön ohjelmointi

Arduino-pohjaisen ohjainyksikön ohjelmointi tehtiin Arduinon omalla IDE-ohjelmalla, joka toimii yleisimpien ohjelmointikielien kanssa. Ohjainyksikössä käytetty ohjelmisto pohjautuu OpenEVSE:n julkaisemaan avoimenlähdekoodin ohjelmaan, joka ladattiin kyseisen yrityksen Google Code -arkistosta (21). Käytetty OpenEVSE:n ohjelmistoversio on 0.4-versio. Kyseiseen koodiin piti tehdä muutoksia, jotta ohjelma toimisi suunnitellulla tavalla. Ohjelmasta piti poistaa maadoitusta ja vikavirtaa seuraavan GFCI-piirin tarkastuskohdat, sillä vikavirtaa tässä laitteessa monitoroi VSKK sekä RCM-moduuli.

Alun perin suunniteltua tyyppin 2 pistorasian elektronisesti ohjatun sähkölukon ohjelmointia ei valitettavasti tehty ohjelmistokoodiin projektin aikataulun takia, ja tästä jääkin hyvä jatkokehitysmahdollisuus valmistetulle latausasemalle.

6.1 GFCI-piirin testauksen poisto

GFCI-piirin testauksen poisto suoritettiin kommentoimalla koodista kaikki GFCI:n liittyvät rivit. Kuvan 14 punaisella rajatulla alueella näkee esimerkin, jossa OpenEVSE:n koodin kohdasta on kommentoitu pois GFCI:n liittyviä rivejä.

```
// EEPROM offsets for settings
#define EOPS_CURRENT_CAPACITY_L1 0 // 1 byte
#define EOPS_CURRENT_CAPACITY_L2 1 // 1 byte

// must stay within thresh for this time in ms before switching states
#define DELAY_STATE_TRANSITION 250
// must transition to state A from contacts closed in < 100ms according to spec
// but Leaf sometimes bounces from 3->1 so we will debounce it a little anyway
#define DELAY_STATE_TRANSITION_A 25

// #ifdef GFI
// #define GFI_INTERRUPT 0 // interrupt number 0 = D2, 1 = D3

// #ifdef GFI_TESTING
// #define GFI_TIMEOUT ((unsigned long)(15*1000))
// #define GFI_RETRY_COUNT 255
// #else // !GFI_TESTING
// #define GFI_TIMEOUT ((unsigned long)(15*60000)) // 15*16*1000 doesn't work. go figure

// #define GFI_RETRY_COUNT 4
// #endif // GFI_TESTING
// #endif // GFI

// -- end configuration

// -- begin class definitions
```

Kuva 14. GFCI-piiriin liittyvän kohdan poisto kommentoimalla.

7 Ohjainlaitteen testaus simuloinnilla

Ennen kuin latausaseman toimintaa voidaan testata sen oikeassa käytössä, täytyy ohjainlaite ensin testata lataussimulaatiolla, jossa tarkastetaan, että control pilot -piiri toimii oikealla tavalla. Simulaation suorittamiseen tarvittavat ohjeet ovat samalta Instructables-sivustolta kuin protokortin valmistusohjeet. Osa ohjeista on myös OpenEVSEn omilta verkkosivuilta. (18; 22) Ennen kuin siirrytään ohjainlaitteen testisimulaatioon, tarkastellaan ensin tarkemmin control pilot -signaalia ja kuvataan, miten simulaatiopiiri on tehty.

7.1 Control pilot -signaali

Control pilot -signaali on 1 kHz:n taajuista kanttiaaltoa, jonka jännite vaihtelee +12 V:n ja -12 V:n välillä. Signaalin on toleranssi 980–1020 Hz. Jännitteen suuruus määrittelee latausaseman tilan ja pulssisuhde sallitun virran ladattavaan sähköajoneuvoon. (18; 22)

7.1.1 Pulssisuhde

Pulssisuhde on riippuvainen ohjainlaitteeseen asetetusta huippuvirrasta ja pulssisuhde voidaan laskea kahdella eri yhtälöllä riippuen asetetusta huippuvirrasta. Mikäli asetettu huippuvirta on 6 A:n ja 51 A:n välillä, lasketaan pulssisuhde yhtälön 1 mukaisesti (23, liite A, taulukko A.5):

$$D = \frac{I}{0,6} \quad (1)$$

jossa

D on pulssisuhde (%)

I on latauksen huippuvirta (6...51 A)

Kun latauksen huippuvirta on 51 A:n ja 80 A:n väliltä, lasketaan pulssisuhde yhtälön 2 mukaisesti (23, liite A, taulukko A.5):

$$D = \left(\frac{I}{2,5} \right) + 64 \quad (2)$$

jossa

D on pulssisuhde (%)

I on latauksen huippuvirta (51...80 A)

Taulukossa 3 on esimerkkejä pulssisuhdeista eri huippuvirroilla. Pulssisuhteen toleranssi on ± 1 prosenttiyksikkö. Alle 3 %:n pulssisuhde viestii virheestä ja 3–7 %:n pulssisuhteella tässä ohjainlaitteessa vaaditaan digitaalista kommunikointia ulko- tai sisäpuolella olevan laturin kanssa, jotta lataus saadaan suoritettua. (18; 24) Ohjainlaitteissa, jotka pystyvät pikalataukseen, 3–7 %:n pulssisuhde viestii tällöin pikalatauksesta. (23, liite A, kuva A.1, taulukko A.5 ja A.6.)

Taulukko 3. Esimerkkejä eri pulssisuhdeista ja niiden huippuvirroista (18; 24).

Pulssisuhde	Huippuvirta	Pulssisuhde	Huippuvirta
< 3 %	Virhe	70 %	42 A
3–7 %	Digital Com	80 %	48 A
10 %	6 A	86 %	55 A
20 %	12 A	88 %	60 A
30 %	18 A	90 %	65 A
40 %	24 A	92 %	70 A
50 %	30 A	94 %	75 A
60 %	36 A	96 %	80 A

7.1.2 Control pilot -jännitteen mittausta ja latauksen toimintatilat

Latausaseman ohjainlaite monitoroi jatkuvasti jännitettä control pilot -johtimen ja suojauslaitteiden välillä ja muuttaa toimintatiloja jännitteiden muuttuessa. Sähköajoneuvon latauksella on määritetty 6 erilaista toimintatilaa ja ne näkyvät taulukossa 4.

Taulukko 4. Sähköajoneuvon latauksen toimintatilat eri jännite- ja vastusarvoilla (18).

Tila	Jännite (V)	Vastus (Ω)	Latauksen tila
A	12	N/A	Valmiustila, ajoneuvoa ei kytketty
B	9	2,74k	Ajoneuvo kytketty
C	6	882	Lataustila
D	3	246	Lataus tuuletuksella
E	0	N/A	Latausasema sammutettu
F	-12	N/A	Latausaseman vikatila

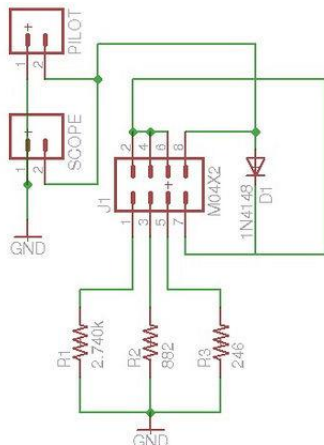
7.2 Simulointipiirin tekeminen

Simulointipiiri tehtiin koekytkentälevylle ja siihen tarvitaan 5 erilaista komponenttia, jotka näkyvät osaluettelossa taulukossa 5.

Taulukko 5. Simulointipiirin osaluettelo (18).

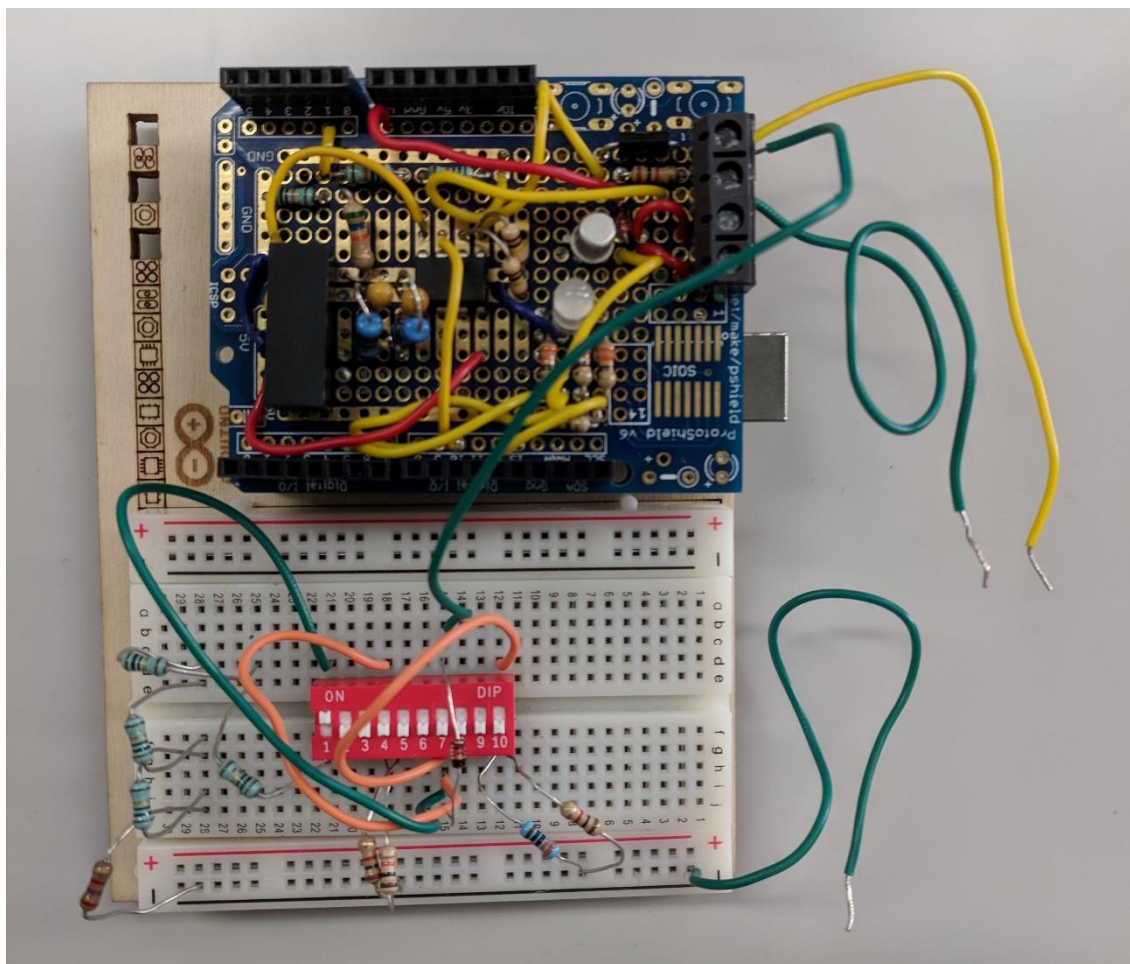
Osa	Valmistaja	Arvo/Malli	Lkm
Vastus	Yleinen	246 Ω	1
Vastus	Yleinen	882 Ω	1
Vastus	Yleinen	2,74 k Ω	1
Diodi	ON Semiconductor	1N4148	1
DIP-kytkin	Yleinen	Min. 4 kytöntä	1

Simulointipiiriin tarvittavat vastukset resistanssiarvot ovat hyvin harvinaisia eikä niitä ollut Metropolialla. Tilanne ratkaistiin kytkemällä erisuuruisia vastuksia sarjaan tai rinnan, jotta saadaan vastukselle vaadittu resistanssin arvo. OpenEVSE-sivuston käyttämän 4-kytkimisen DIP-kytkimen sijaan simulointipiirissä käytettiin oppilaitokselta löytynyttä 8 kytkimellä olevaa versiota. Kuvassa 15 näkyy simulointipiirin piirikaavio.



Kuva 15. OpenEVSE-lataussimulaattorin piirikaavio (18).

Kuvassa 16 on valmis koekytkentälevylle tehty simulointipiiri, joka on liitetty valmiiksi ohjainlaitteeseen. Kuvassa näkyvät vapaat johdot kiinnitetään oskilloskooppiin tai yleismitariin ja virtalähteeseen kuvan 15 piirikaavion mukaisesti.



Kuva 16. Valmis simulaatiopiiri.

Kuten aiemmin mainittiin, ovat simulaatiopiiriin vaaditut vastuksen resistanssi arvot harvinaisia, joten niiden arvojen saavuttamiseksi kytkettiin erikokoisia vastuksia sarjaan- tai rinnankytkennällä, jotta saadaan vaaditut resistanssi arvot toteutumaan. Vastuksien sarjaan- ja rinnankytkennät ovat toteutettu piiriin seuraavanlaisesti:

2,74 k Ω :n suuruinen vastus on toteutettu sarjaan kytkemällä 2,7 k Ω :n vastus neljän 10 Ω :n vastuksen kanssa. Kyseinen sarjaan kytkentä on kytketty kuvan 15 DIP-kytkimen ensimmäiseen kytkimeen.

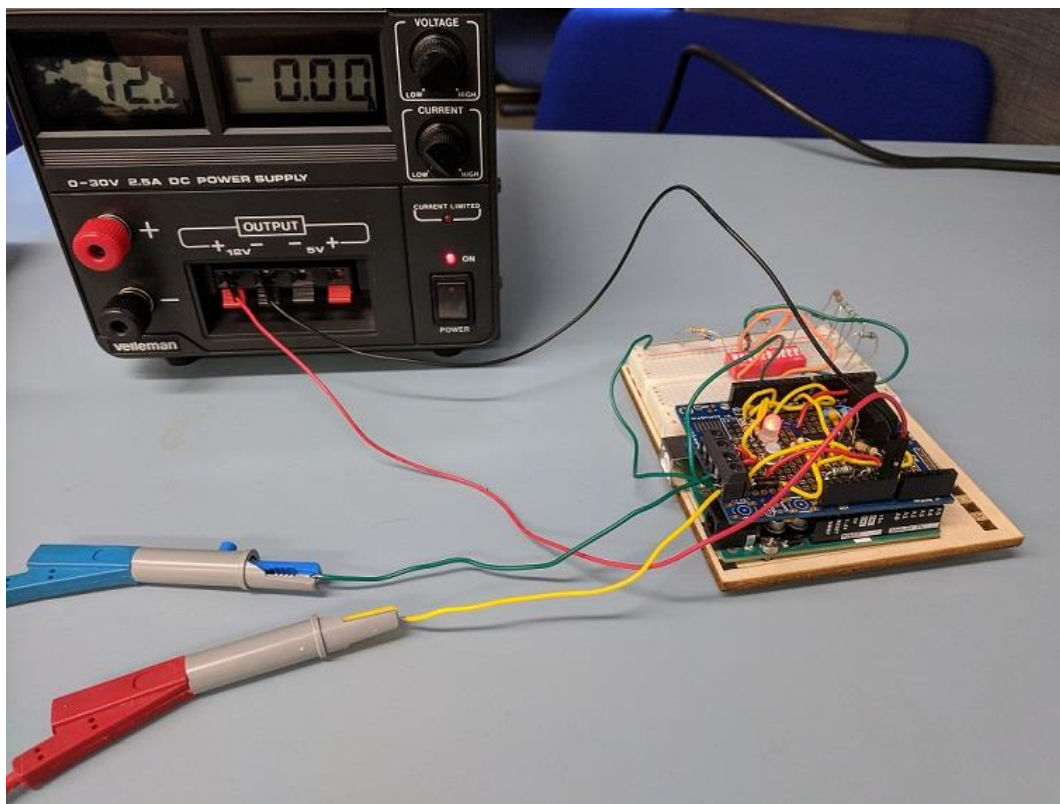
882 Ω :n suuruinen vastus on toteutettu rinnan kytkemällä 1000 Ω :n vastus 800 Ω :n vastuksen kanssa ja tämä rinnankytkentä on kytketty *kuvan 15* DIP-kytkimessä neljänteen kytkimeen.

246 Ω :n suuruinen vastus on, myös toteutettu rinnan kytkemällä, mutta tässä tapauksessa 330 Ω :n vastus on kytketty 1000 Ω :n vastuksen kanssa rinnan. Tämä on taas kytketty kuvan 15 DIP-kytkimessä 10:nteen kytkimeen.

Kun jokainen vastus oli kytketty omiin DIP-kytkimen paikkoihin, liitettiin ne DIP-kytkimen seitsemänteen kytkimeen, johon myös diodin toinen pää kytkettiin.

7.3 Control pilot -piirin testaus simuloinnilla

Control pilot -piirin testaus simuloimalla on hyvin yksinkertainen prosessi, kun simulointipiiri on tehty. Simulointipiirin lisäksi tarvitaan taajuuden mittaukseen soveltuva yleismittari tai oskilloskooppi signaalin monitorointia varten sekä 12 V:n virtalähde. Kuvassa 17 näkyy testattavana oleva ohjainlaite ja kytkennät simulointipiiristä, yleismittarista tai oskilloskoopista ja virtalähteestä suoritetaan kuvan 14 kytkentäkaavion mukaisesti. Kun kaikki kytkennät on tehty, voidaan aloittaa simulointitestaus. Simulointi voidaan aloittaa halutussa järjestyksessä, mutta kuitenkin siten, että käydään simuloitavat latauksen toimintatilat läpi. (18) Kuvassa 17 näkyy testattavana oleva ohjainlaite, ja kytkennät on tehty kuvan 14 kytkentäkaavion mukaisesti. Testien aikana DIP-kytkimen seitsemäs kytkin on jatkuvasti auki, jotta simulointipiiri johtaisi vastusten tuottaman resistanssin ohjainlaitteen control pilot -kontaktiin.



Kuva 17. Ohjainlaite testattavana.

7.3.1 Toimintatila A

Toimintatila A testataan kytkemällä virta ohjainlaitteeseen 12 V:n virtalähteestä. Kun ohjainlaite on kytketty päälle, niin ohjainlaitteen ledivalon pitäisi palaa vihreänä merkinä siitä, että se on valmiustilassa ja ajoneuvoa ei ole vielä kytketty. (18)

7.3.2 Toimintatila B

Toimintatila B testataan kytkemällä DIP-kytkimen kytkin nro 1 päälle, jolloin siihen liitetty 2,74 k Ω :n vastus pääsee ohjainlaitteelle. Tällöin ohjainlaitteen ledivalon pitäisi palaa keltaisena merkiksi ajoneuvon kytkennästä latausasemaan. (18)

7.3.3 Toimintatila C

Toimintatila C testataan laittamalla DIP-kytkimen kytkin nro 4 päälle, jolloin simulaatiopiirin 882 Ω :n vastus pääsee ohjainlaitteelle. Tällöin ledivalon pitäisi palaa sinisenä, ja tämä merkitsee siten ajoneuvon latausta. (18)

7.3.4 Toimintatila D

Toimintatila D:n testataan laittamalla DIP-kytkimen kytkin nro 10 päälle, jolloin $246\ \Omega$:n vastus pääsee ohjainlaitteeseen. Tällä kertaa ledivalon pitäisi palaa punaisena, mikä kertoo virheestä, ja latauksen tuuletus on tarpeellinen. (18)

7.3.5 Toimintatila E

Toimintatila E:n testaamiseksi pois kytketään virta ohjainlaitteesta, jolloin ledivalon pitäisi sammua. Tämä ilmaisee siitä, että ohjainlaitteella ei ole virtaa. (18)

7.3.6 Toimintatila F

Toimintatila F testataan irrottamalla simulointipiirissä käytetty diodi, minkä jälkeen laite-
taan DIP-kytkimen kytkin nro 1 päälle. Tällöin ohjainlaitteelle pääsee $2,74\ k\Omega$:n vastus, mutta tällä kertaa diodia ei ole estämässä sähköän kulkua väärään suuntaan ja ohjainlaitteen ledivalon pitäisi palaa punaisena ilmoittaen diodivirheestä. (18)

8 Kotelo ja komponenttien asennus

Tässä luvussa esitellään latausasemaa varten hankittu kotelo ja muutokset, jotka sille on tehty. Luvussa kerrotaan, myös miten komponentit on asennettu koteloon ja miten johdotukset on tehty esittämällä käytettyä kytkentäkaaviota.

8.1 Latausaseman kotelo

Latausaseman kotelo päätettiin hankkia vasta, kun kaikki komponentit ovat tulleet, jotta voidaan hahmotella, minkä suuruista koteloa tarvitaan. Kaikki komponentit aseteltiin muutamiiin mahdollisiin eri konfiguraatioihin ja näistä otettiin mitat, jotta tiedetään kotelon vähimmäismitat. Mittojen avulla löydettiin sopivaksi koteloksi Partcolta IDE:n valmistama 55SD322L-malli (kuva 18). Kyseinen malli on kooltaan 239 x 328 x 129 (K x L x S) ja siinä on IP67-kotelointiluokitus, sekä IK07-iskunkestävyysluokitus (24). Molemmat luokitukset ovat pienjännitesähköasennusstandardi SFS 6000:n vaatimusten mukaiset. Standardin vaatimukset ulkotilaan asennettavan latausaseman kotelolle on IP44-luokitus ja sisälle IP41. Lisäksi iskunkestävyysluokitukseksi yksityiskäytössä on vaadittu vähintään IK07-luokitus. (15, kohta 722.512.2.) Vaikka latausasema tulee varmasti olemaan opetuskäytössä sisätiloissa, sitä voi näiden luokitusten mukaan käyttää ulkotiloissa, sillä kotelo soveltuu ulkokäyttöön, myös pakkasella, koska sen käyttölämpötila alue on -25–40 °C (24). Vaikka kotelon kansi ei ole läpinäkyvä, niin se ei kuitenkaan haittaa latausaseman käyttöä, sillä opetuskäytössä kansi on useimmiten irrotettuna.



Kuva 18. IDE 55SD322L -mallin teollisuuskotelo (24).

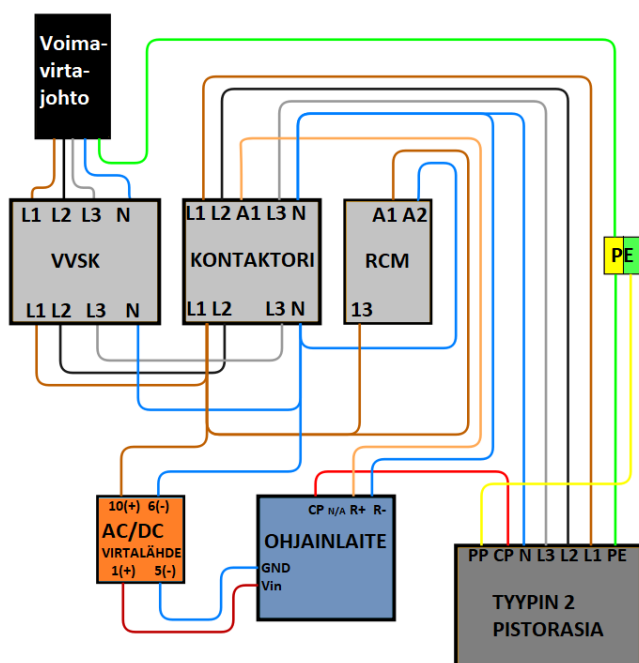
8.1.1 Yleistä

Ennen kuin koteloon pystyi asentamaan pääkomponentteja, sitä täytyi muokata sen verran, että siihen sai asennettua tyypin 2 pistorasian sekä vedonpoistajan, jonka läpi tuodaan voimavirtajohto. Jotta tyypin 2 pistorasia saatiin asennettua, täytyi siihen tehdä pistorasialle sopivankokoinen reikä sähköporakoneella, jossa oli sopiva reikäporanterä. Lisäksi tehdyn reiän kulmiin porattiin sähköporakoneella neljä reikää pistorasian kiinnityspulteille. Toinen muutos oli tehdä reikä vedonpoistajalle, ja tämä tehtiin myös sopivan kokoisella reikäporanterällä.

8.2 Komponenttien asennus

8.2.1 Kytkentäkaavio

Komponenttien johtojen kytkentään ei ollut valmista kytkentäkaaviota saatavilla, mutta tämä ratkaistiin vertailemalla komponenttien mukana tulleita datalehtiä, sekä vertailemalla eri foorumeilla olleita ratkaisuja tämänkaltaiselle projektille ja näillä tiedolla tehtiin lopulta omanlainen kytkentäkaavio. Kuvassa 19 on itse tehty kytkentäkaavio, josta selviää miten laitteet ovat liitetty toisiinsa.



Kuva 19. Latausaseman komponenttien kytkentäkaavio.

8.2.2 Voimavirtajohdon läpivienti ja tyypin 2 pistorasian asennus

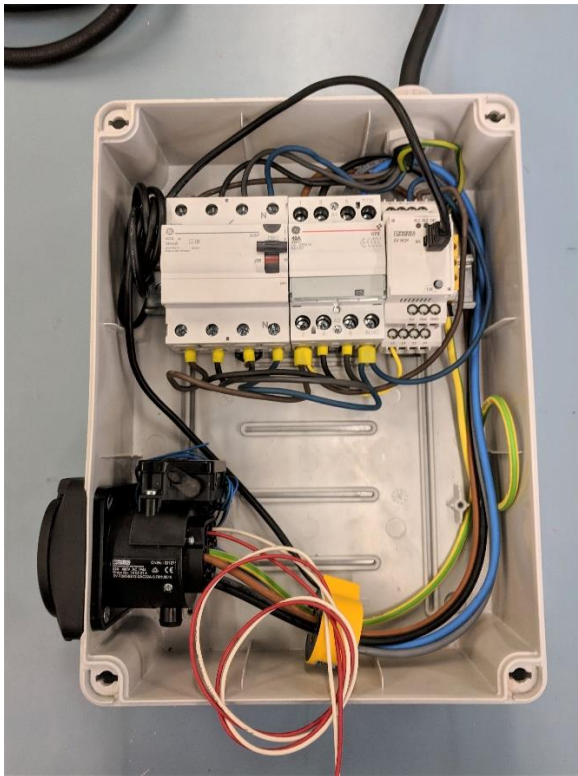
Ensimmäisenä toimenpiteenä komponenttien asennuksessa koteloon oli voimavirtajohdon läpivienti vedonpoistajan läpi kotelolle sekä tyypin 2 pistorasian asennus sille tehtyyn reikään. Vedonpoistajaa tarvitaan kotelossa, jotta siitä saataisiin reiän teon jälkeen jälleen tiivis. Tyypin 2 pistorasia asennettiin kotelon sisäkautta siihen tehtyyn reikään ja kotelon ulkopuolelle asetettiin pistorasian saranallinen kehys, johon pistorasia kiinnitetään neljän M5-kokoisen pultin avulla. Kun pultteja kiristetään, puristuvat nämä kaksi osaa toisiinsa ja niissä olevat kumitiivisteet tekevät kotelosta jälleen tiiviin. Kuvassa 20 näkyvät molemmat komponentit asennettuina.



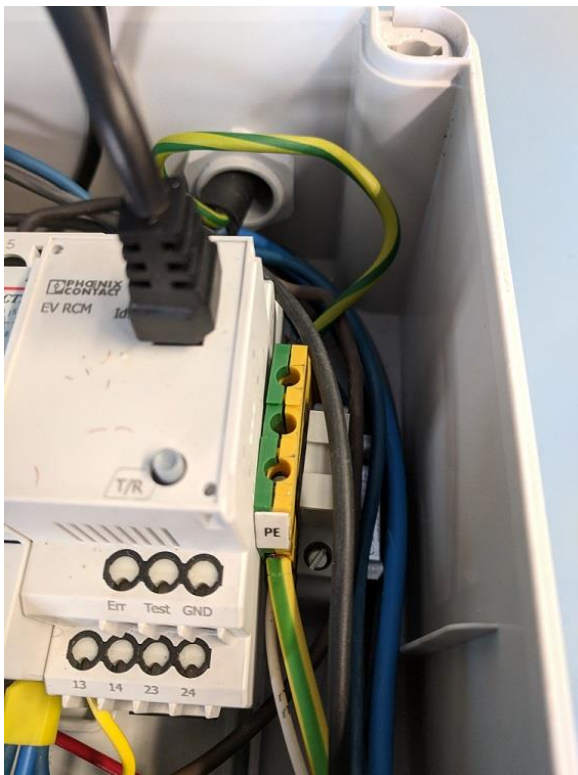
Kuva 20. Voimavirtajohto ja tyypin 2 pistorasia asennettuna.

8.2.3 Kontaktorin, VSKK:n, RCM-moduulin sekä suojamaan apukoskettimen asennus

Kaikki neljä komponenttia asennettiin niitä varten hankitulle DIN-kiskolle, joka ruuvattiin kotelon yläosaan, näin kaikki neljä ovat järkevästi vierekkäin ja helpottaa johtojen liittämistä. Kuvassa 21 kaikki komponentit ovat asennettuina DIN-kiskoon ja osa johdotuksista on tehty. Kuvassa 21 näkyvä tyypin 2 pistorasiasta tuleva valkoinen johto on proximity pilot -signaalille ja se asennetaan tyypin 2 pistorasian suojamaa johdon kanssa suojamaan apukoskettimeen, jonka toiseen päähän on liitetty voimavirtajohdon suojamaa. Liitäntä näkyy kuvassa 22.



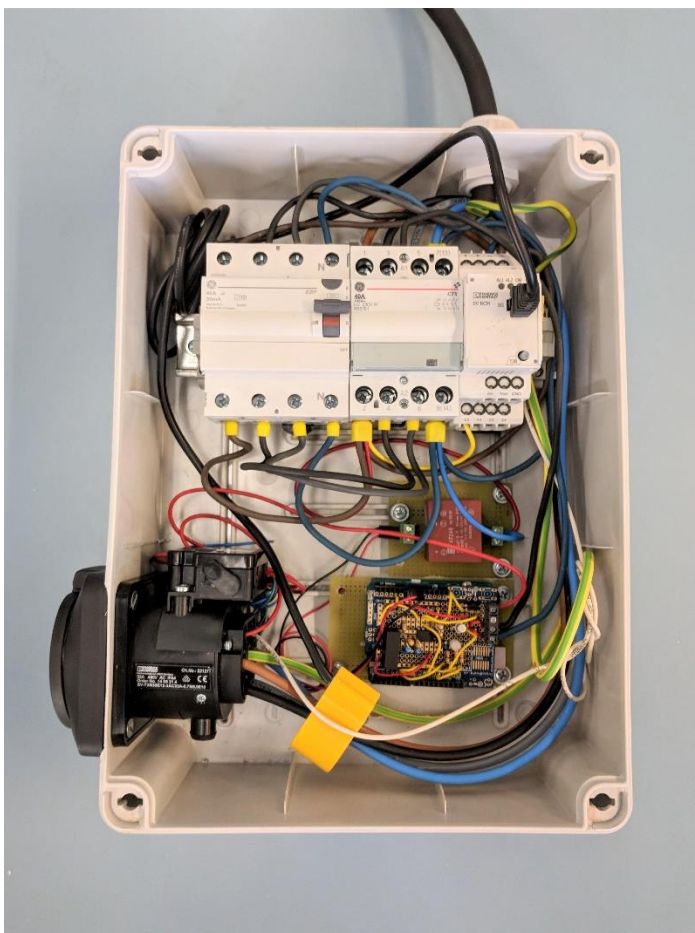
Kuva 21. Kontaktori, VSKK, RCM-moduuli ja suojamaan apukosketin asennettuna koteloon.



Kuva 22. Suojamaan apukoskettimen johtoliitokset.

8.2.4 Ohjainlaitteen ja AC/DC-virtalähteen asennus

Viimeisenä vaiheena oli ohjainlaitteen ja sen AC/DC-virtalähteen asennus. Ennen kuin ohjainlaite asennettiin koteloon, sille tehtiin alusta, johon se ensin kiinnitetään, minkä jälkeen alusta kiinnitetään koteloon ruuveilla. Tämä alusta tehtiin samasta reikäpiiri levystä, josta oli leikattu pala AC/DC-virtalähdettä varten. Myös virtalähde kiinnitettiin ruuveilla koteloon. Ohjainlaitteen AC/DC-virtalähde saa virtansa kontaktorin L1- ja N-terminaaleista, minkä jälkeen virtalähteestä liitetään johdot ohjainlaitteen GND- ja Vin-pinneihin. Ohjainlaitteeseen tuleva control pilot -johto (CP) liitettiin sille tarkoitettuun ruuviterminaalipaikkaan (kuvassa 19 näkyvä CP). Jotta ohjainlaite pystyy ohjaamaan kontaktorin koskettimien asentoja, liitettiin kontaktorilta A1 ja N-terminaaleista johdot releohjaimen ruuviterminaalisiin (kuvassa 19 näkyvät R+ ja R-). Kuvassa 23 on valmis latausasema, ja kuvasta näkee ohjainlaitteen ja virtalähteen asennuspaikan. Kuvan kaikki johdotukset ja kytkennät on tehty kuvan 19 kytkentäkaavion mukaisesti.



Kuva 23. Latausasema koottuna

8.3 Kuvia latausasemasta koottuna



Kuva 24. Latausasema kokonaisuudessaan.



Kuva 25. Tyypin 2 pistorasia saranallisella kannella kotelossa.

9 Valmiin latausaseman testaus

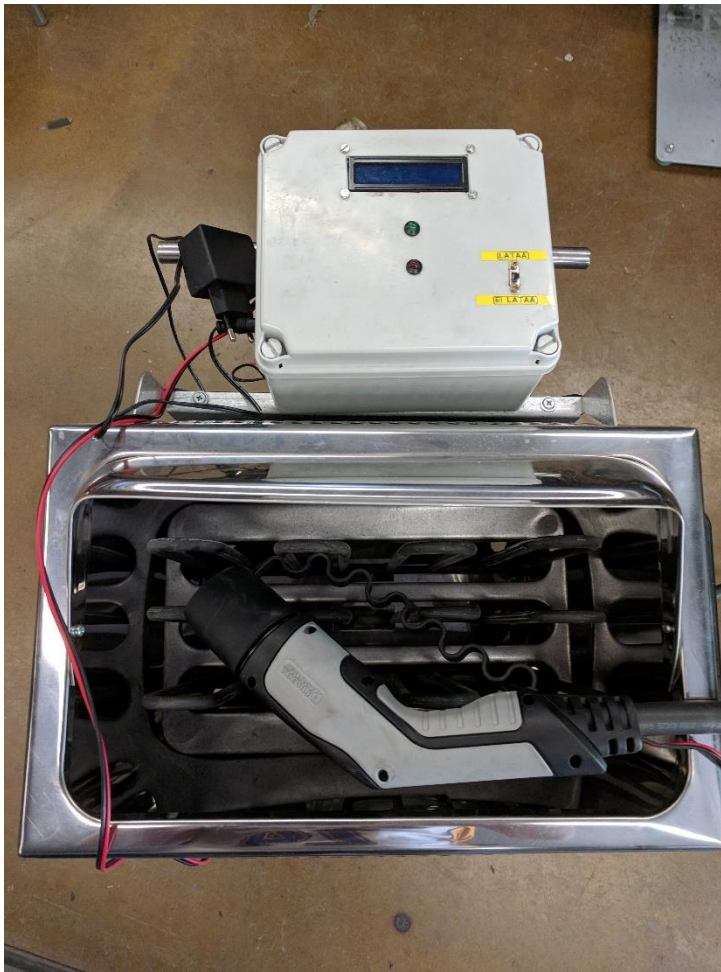
Kun latausasema on saatu koottua, se testataan vielä lataussimulaattorilla, jonka avulla tiedetään, että laite toimii oikein sähköverkkoon kytkettynä.

9.1 Lataussimulaattori

Lataussimulaatiota varten Metropolista löytyi erään innovaatioprojektiryhmän tekemä lataussimulaattori. Lataussimulaattorissa on normaali saunan sähkökiuas, joka alkaa lämpiämään, kun ”sähköajoneuvoa” aletaan lataamaan. Kuvista 26 ja 27 näkee, minkälaisesta laitteesta on kyse.



Kuva 26. Yleiskuva innovaatioprojektina tehdystä lataussimulaattorista.



Kuva 27. Innovaatioprojektina tehty lataussimulaattori ylhäältä päin katsottuna.

9.2 Testaus

Lataussimulaattori toimii siten, että sen ohjainyksikön 9 V:n virtalähde kytketään normaaliin sukopistorasiaan ja tyypin 2 latauspistoke kytketään valmistetun latausaseman tyypin 2 pistorasiaan. Tämän jälkeen laitetaan *kuvassa 27* yläreunassa olevan ohjainlaitteen kaksitoiminen kytkin lataa asentoon. Nyt latausaseman pitäisi alkaa lataamaan ”sähköajoneuvoa”, jolloin sähkökiuas lämpenee. *Kuvassa 28 on* valmis latausasema testattavana.



Kuva 28. Valmis latausasema testattavana.

10 Yhteenveto ja pohdintaa projektista

Opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa sähköajoneuvolle Arduino-pohjainen lataus-asema, joka soveltuu lataustavalle 3. Valitettavasti täysin toimivaa latausasemaa ei saatu valmistettua, koska ohjainlaitteen ohjelmoinnissa oli ongelmia eikä sitä saatu ajoissa toimimaan oikealla tavalla.

Testatessa ohjainlaitteen toimintaa simulointipiirin avulla vain punainen ledivalo paloi, ja syitä tähän tutkittiin useita päiviä. Itse ohjainlaitteen protokortin komponenteissa tai liitoksissa ei huomattu mitään vikaa yleismittarin mittauksilla eikä silmämääräisesti, joten ongelma on suurella todennäköisyydellä OpenEVSEn ohjelmassa. Syynä ohjelman toimimattomuuteen voi olla mahdollisesti se, ettei protokortin valmistuksessa käytetty aivan täysin samoja komponentteja, vaikka ne olivatkin lähes identtiset teknisiltä tiedoiltaan. Ohjelmaa tutkittiin yhdessä erään ohjelmoinnin opiskelijan kanssa ja koodia yritettiin debugata Visual Studio 2017 -ohjelmistolla, mutta se ei onnistunut koodin vanhanaikaisuuden takia. Ohjelmointikoodi oli tehty Windows 8.1 -käyttöjärjestelmällä, ja Visual Studiolla oli vaikeuksia sen takia debugata sitä. Muutamien muutosten jälkeen ohjelmointi koodia saatiin debugattua, mutta virheitä tuli monia, jotka liittyivät jälleen koodin vanhanaikaisuuteen. Aikataulusyistä ohjelmoinnin ongelman tutkimista ei jatkettu, mutta projekti päätettiin suorittaa silti loppuun opinnäytetyön ohjaajan ehdotuksesta, jotta opinnäytetyön kirjallinen osuus saataisiin tehtyä valmiiksi ajallaan. Ohjaaja ehdotti myös, että esimerkiksi joku ohjelmoinnin opiskelija voisi tehdä omana opinnäytetyönään tähän latausaseman ohjainyksikköön oman ohjelmansa, joka toimisi samalla periaatteella kuin OpenEVSEn ohjelma.

Työn tuloksena valmistunut sähköajoneuvon latausasema ja sen valmistusprosessista tehty raportti jää Metropolian opetusmateriaaliksi. Molemmista tulee varmasti olemaan hyötyä oppilaitokselle, ja uskon, että latausasema on tulevien opiskeluprojektien aiheena laitteen jatkokehitystä ajatellen.

Opinnäytetyönä projekti oli hyvin ajankohtainen sähköautojen ollessa jatkuvasti otsikoissa ja niiden määrän ollessa jatkuvassa kasvussa. Projektina opinnäytetyö oli mielenkiintoinen, ja tietoa etsiessä sain sähköajoneuvoista ja niiden latauksesta paljon syvällisempää tietoa, jota en ollut aiemmin oppinut. Ennen projektia olin tutustunut ohjelmointiin vain hieman, ja projektin aikana ohjelmointitaidot ovat parantuneet

Työstä tehtyä raporttia voidaan käyttää valmistusohjeina koulun mahdollisiin tuleviin projekteihin. Yksityishenkilöille, joilla ei ole minkäänlaista kokemusta sähkötekniikasta ja automaatiosta, en kuitenkaan suosittele samanlaisen latausaseman rakennusta, sillä kyseessä on vain prototyyppi eikä tuotannossa oleva tuote, joten tuotteen turvallisuutta ei voida taata. OpenEVSElla on nykyisin uudempia tuotteita, joissa on paljon enemmän turvallisuutta tuovia ominaisuuksia, mm. lämpötilanseuranta, joten mikäli omavalmisteisen latausaseman valmistus kiinnostaa, suosittelen yrityksen uudempia rakennuspaketteja tai sitten jonkin muun samankaltaisen yrityksen tuotteita.

Projektiin jäi muutamia potentiaalisia kehityskohtia, sillä Arduinon mikropiirin naarasrimojen kontakteista jäi vielä useampi käyttämättä. Tärkeimpänä kehityskohtana on omavalmisteisen ohjelman tekeminen ohjainlaitteelle, jotta latausasemasta saisi vihdoin toimintakuntoisen. Tämän lisäksi olisi hyvä saada pois jääneen tyypin 2 pistorasian sähkölukko toimimaan. Näiden jälkeen suurimpana kehityskohtana on LCD-näytön lisääminen latausasemaan, sillä se toisi huomattavasti lisää kehitysvaihtoehtoja. Sen avulla voidaan tarkkailla, kuinka paljon lataukseen on kulunut aikaa, ja mikäli sattuu virhe, niin näyttö kertoo tarkkaan, mikä on vialla. Mikäli näytön mikropiiriin saadaan vielä näppäimet, voidaan latauksen maksimivirtoja hallita valikon kautta ilman tietokonetta. LCD-näyttö toisi myös mahdollisuuden energialaskuriin, jolla voisi laskea jokaisen latauksen hinnan kWh/€. Näihin mainitsemini kehitysasioihin löytyy valmiita ohjelmistokkoodeja OpenEVSEltä, mutta aikataulusyistä nämä jätettiin projektista pois.

Lähteet

- 1 Linja-aho, Vesa. 2017. Sähköautojen lataus. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/Tiedostot/pelastustoimen_laitteet/2017_Vesa_S%C3%A4hk%C3%B6autojen_lataus.pdf>. 15.3.2018.
- 2 Advanced station. Verkkodokumentti. OpenEVSE. <<https://store.openevse.com/products/advanced-station>>. Luettu 15.3.2018.
- 3 OpenEVSE v4 Universal EVSE Controller. Verkkodokumentti. OpenEVSE. <<https://store.openevse.com/products/openevse-plus-v4-universal-charging-station-controller>>. Luettu 15.3.2018.
- 4 Stenhammar, Rino. 2017. Sähköajoneuvojen vaihtosähkölatausta koskevat vaatimukset ja latausaseman rakenne. Verkkodokumentti. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/136994/Stenhammar_Rino.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 15.3.2018.
- 5 Sähköajoneuvojen lataussuositus 2018. Verkkodokumentti. Sesko Ry. <http://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/lataussuositus>. Luettu 20.3.2018.
- 6 EV Connectors & EV Charging Cables. Verkkodokumentti. Electric Vehicle Charging Solutions and Accessories Across Australia & New Zealand. <<https://www.evse.com.au/ev-charging-cables-leads/>>. Luettu 20.3.2018.
- 7 The solution for Europe: Type 2 charging socket with or without shutter. Verkkodokumentti. Mennekes Solutions. <http://www.mennekes.de/uploads/media/Type2_with_Shutter_01.pdf>. Luettu 20.3.2018.
- 8 Electric car chargers. Verkkodokumentti. Enerlogy. <<http://enerlogy.co.za/products/e-mobility/electric-car-chargers/>>. Luettu 20.3.2018.
- 9 Marucci, Todd. 2013. How the J1772 charging standard for plug-in vehicles works. Verkkodokumentti. EDN. <<https://www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works>>. Luettu 20.3.2018.
- 10 Tuite, Don. 2012. Understanding U.S. And European Standards for Electric-Vehicle Charging. Verkkodokumentti. <<http://www.electronicdesign.com/power/understanding-us-and-european-standards-electric-vehicle-charging>>. Luettu 20.3.2018.
- 11 Arduino Uno Rev 3. Verkkodokumentti. Arduino. <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Luettu 25.3.2018.

- 12 Arduino Protokorttiseti Version R3. Verkkodokumentti. Partco.
<https://www.partco.fi/fi/arduino/arduino-lisaekortit/18972-protoshield-2077.html?search_query=arduino+shield&results=19>. Luettu 25.3.2018.
- 13 Vikavirtasuojakytkin Tyyppi B, CHINT NL210, 40A (Latauspisteen vikavirtasuoja). Verkkodokumentti. Artic-EV. <https://arctic-ev.omaverkkokauppa.fi/epages/arctic-ev.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2015010202/Products/CHINTNL210>. Luettu 21.5.2018.
- 14 Vikavirtasuojat. Verkkodokumentti. Finnparttia. <https://www.finnparttia.fi/epages/finnparttia.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014102905/Products/VVS440KG>. Luettu 21.5.2018.
- 15 SFS 6000. Pienjännitesähköasennusstandardi. Osa 7-722: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähköajoneuvojen syöttö. 2017. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 16 Differential Current Monitoring – EV-RCM-C1-AC30-DC6 - 1622450. Verkkodokumentti. Phoenix Contact. <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi/?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1622450&library=fifi&pcck=P-29-04-01-01&tab=1&selectedCategory=ALL>>. Luettu 5.4.2018.
- 17 Socket Outlet – EV-T2M3SE12-3AC32A-0,7M6,0E10 - 1405214. Verkkodokumentti. Phoenix Contact. <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=1405214&library=fifi&tab=1#Locking>>. Luettu 5.4.2018.
- 18 Flyguy161. Arduino EV J1772 Charging Station. Verkkodokumentti. <<http://www.instructables.com/id/Arduino-EV-J1772-Charging-Station/>>. Luettu 3.3.2018.
- 19 About Us. Verkkodokumentti. OpenEVSE. <<https://store.openevse.com/pages/about-us#Z>>. Luettu 9.5.2018.
- 20 Howell, C. J. 2012. OpenEVSE Arduino Shield. Verkkodokumentti. <https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/open-evse/OpenEVSE%20Arduino%20shield_th_v1.pdf>. Luettu 3.3.2018.
- 21 Ohjelmointitiedosto. 2012. OpenEVSE. <https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/open-evse/open_evse_fw_v0.4.0.zip.zip>. Ladattu 15.4.2018.
- 22 Howell, Christopher. Testing Basic and Advanced. Verkkodokumentti. OpenEVSE. <<https://openevse.dozuki.com/Guide/Testing+Basic+and+Advanced/12>>. Luettu 20.4.2018.

- 23 SFS-EN 61851-1. Electric vehicle conductive charging system – part 1: general requirements. 2012. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
- 24 Lewandowski, Christian; Gröning, Sven; Schmutzler, Jens & Wietfeld, Christian. Performance Evaluation of PLC over IEC 651851 Control Pilot Signal. 2011. Verkkodokumentti. Communication Networks Institute, TU Dortmund University. <<http://www.isplc.org/docsearch/Proceedings/2011/pdf/Lewandowski.pdf>>. Luettu 13.5.2018.
- 25 IP65-IP67 Junction Boxes, 55DS322L. Verkkodokumentti. IDE Electric, S.L. <http://ide.es/eng/products/plastic-enclosures/ip65ip67-junction-boxes/ref_EL322>. Luettu 15.5.2018.